

日 本 国 特 許 庁  
PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application:

2000年 4月 6日

出 願 番 号  
Application Number:

特願2000-105156

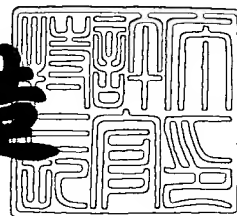
出 願 人  
Applicant(s):

株式会社ニコン

2001年 2月23日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3011448

【書類名】 特許願

【整理番号】 00-00079

【提出日】 平成12年 4月 6日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G01B 9/02

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン  
内

    【氏名】 中山 繁

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン  
内

    【氏名】 玄間 隆志

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン  
内

    【氏名】 瀧川 雄一

【特許出願人】

    【識別番号】 000004112

    【氏名又は名称】 株式会社ニコン

    【代表者】 吉田 庄一郎

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 005223

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

    【物件名】 図面 1

    【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 面形状測定装置、波面収差測定装置およびこれらを用いて製造された投影レンズ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

検出器により、被検面からの反射光である測定用光束と、フィゾー面からの反射光である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉による位相差を検出することにより、前記被検面の面形状を測定する面形状測定装置において、

所定の位相基準に対して前記参照用光束及び前記測定用光束との位相を変化させる機構と、

前記位相変化機構に基づいて変化させた複数の参照用光束及び測定用光束の干渉による各位相差を検出し、各位相差情報の平均値を算出する機構と、  
を備えた面形状測定装置。

【請求項 2】

検出器により、被検面からの反射光である測定用光束と、フィゾー面からの反射光である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉による位相差を検出することにより、前記被検面の面形状を測定する面形状測定装置において、

所定の位相基準に対して前記参照用光束の位相を変化させる機構と、

前記位相変化機構に基づいて変化させた複数の参照用光束の位相状態における前記参照用光束と前記測定用光束との干渉による各位相差を検出し、各位相差情報の平均値を算出する機構と、

を備えた面形状測定装置。

【請求項 3】

検出器により、被検面からの反射光である測定用光束と、フィゾー面からの反射光である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉による位相差を検出することにより、前記被検面の面形状を測定する面形状測定装置において、

所定の位相基準に対して前記測定用光束の位相を変化させる機構と、

前記位相変化機構に基づいて変化させた複数の測定用光束の位相状態における前記測定用光束と前記参照用光束との干渉による各位相差を検出し、各位相差情

報の平均値を算出する機構と、  
を備えた面形状測定装置。

【請求項 4】

前記参照用光束と前記測定用光束との位相基準に対する位相変化量が同じであ  
って、前記参照用光束と前記測定用光束との位相差が一定であることを特徴とす  
る請求項 1 記載の面形状測定装置。

【請求項 5】

前記測定用光束の位相変調により位相シフト干渉法を行うことを特徴とする請  
求項 1、2、4 のいずれか記載の面形状測定装置。

【請求項 6】

前記参照用光束の位相変調により位相シフト干渉法を行うことを特徴とする請  
求項 1、3、4 のいずれか記載の面形状測定装置。

【請求項 7】

前記光源が周波数の異なる直交した偏光面を有するヘテロダイン干渉法を行う  
ことを特徴とする請求項 1～4 のいずれか記載の面形状測定装置。

【請求項 8】

前記位相基準に対する参照用光束又は測定用光束の位相変化量が  $0$ 、 $\pi/2$ 、  
 $\pi$ 、 $3\pi/2$  となる 4 つの状態における測定用光束と参照用光束との位相差デー  
タを取得することを特徴とする請求項 1～7 のいずれか記載の面形状測定装置。

【請求項 9】

前記位相基準に対する参照用光束又は測定用光束の位相変化量が  $0$ 、 $\pi/4$ 、  
 $\pi/2$ 、 $3\pi/4$ 、 $\pi$ 、 $5\pi/4$ 、 $3\pi/2$ 、 $7\pi/4$  となる 8 つの状態における測定用光束と参照用光束との位  
相差データを取得することを特徴とする請求項 1～7 のいずれか記載の面形状測  
定装置。

【請求項 10】

前記位相基準に対する参照用光束又は測定用光束の位相変化量が  $2\pi$  以上の範  
囲であって、不規則の複数の状態での測定用光束と参照用光束との各位相差デー  
タを取得することを特徴とする請求項 1～7 のいずれか記載の面形状測定装置。

【請求項 11】

検出器により、被検物を透過した測定用光束と、フィゾー面からの反射光である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉による位相差を検出することにより、前記被検物の波面収差を測定する波面収差測定装置において、

所定の位相基準に対して前記参照用光束と測定用光束の位相を変化させる機構と、

前記位相変化機構に基づいて変化させた複数の参照用光束及び測定用光束の干渉による各位相差を検出し、各位相差情報の平均値を算出する機構と、  
を備えたことを特徴とする波面収差測定装置。

【請求項 1 2】

検出器により、被検物を透過した測定用光束と、フィゾー面からの反射光である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉による位相差を検出することにより、前記被検物の波面収差を測定する波面収差測定装置において、

所定の位相基準に対して前記参照用光束の位相を変化させる機構と、  
前記位相変化機構に基づいて変化させた複数の参照用光束の位相状態における前記測定用光束と前記参照用光束との干渉による各位相差を検出し、各位相差情報の平均値を算出する機構と、  
を備えたことを特徴とする波面収差測定装置。

【請求項 1 3】

検出器により、被検物を透過した測定用光束と、フィゾー面からの反射光である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉による位相差を検出することにより、前記被検物の波面収差を測定する波面収差測定装置において、

所定の位相基準に対して前記測定用光束の位相を変化させる機構と、

前記位相変化機構に基づいて変化させた複数の測定用光束の位相状態における前記測定用光束と前記参照用光束との干渉による各位相差を検出し、各位相差情報の平均値を算出する機構と、  
を備えたことを特徴とする波面収差測定装置。

【請求項 1 4】

前記参照用光束と前記測定用光束の位相基準に対する位相変化量が同じであって、前記参照用光束と前記測定用光束との位相差が一定であることを特徴とす

る請求項 1 1 記載の波面収差測定装置。

【請求項 1 5】

前記測定用光束の位相変調により位相シフト干渉法を行うことを特徴とする請求項 1 1、1 2、1 4 のいずれか記載の波面収差測定装置。

【請求項 1 6】

前記参照用光束の位相変調により位相シフト干渉法を行うことを特徴とする請求項 1 1、1 3、1 4 のいずれか記載の波面収差測定装置。

【請求項 1 7】

前記光源が周波数の異なる直交した偏光面を有するヘテロダイン干渉法を行うことを特徴とする請求項 1 1～1 4 のいずれか 1 項記載の波面収差測定装置。

【請求項 1 8】

位相基準に対する参照用光束又はは測定用光束の位相変化量が  $0$ 、 $\pi/2$ 、 $\pi$ 、 $3\pi/2$  となる 4 つの状態での測定用光束と参照用光束の位相差データを取得することを特徴とする請求項 1 1～1 7 記載の波面収差測定装置。

【請求項 1 9】

位相基準に対する参照用光束又は測定用光束の位相変化量が  $0$ 、 $\pi/4$ 、 $\pi/2$ 、 $3\pi/4$ 、 $\pi$ 、 $5\pi/4$ 、 $3\pi/2$ 、 $7\pi/4$  となる 8 つの状態での測定用光束と参照用光束の位相差データを取得することを特徴とする請求項 1 1～1 7 記載の波面収差測定装置。

【請求項 2 0】

位相基準に対する参照用光束あるいは測定用光束の位相変化量が  $2\pi$  以上の範囲でばらついた複数の状態での測定用光束と参照用光束の位相差データを取得することを特徴とする請求項 1 1～1 7 記載の波面収差測定装置。

【請求項 2 1】

請求項 1～1 0 のいずれか記載の面形状測定装置を用いて測定・面創製を行った光学素子を備えた投影レンズ。

【請求項 2 2】

請求項 1 1～2 0 のいずれか記載の波面収差測定装置を用いて測定・組み立て調整を行った投影レンズ。

【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は、レンズ、ミラーなどの光学素子等の面形状を高精度に測定するための面形状測定装置、及び投影レンズ等の波面収差を高精度に測定するための波面収差測定装置に関する。

## 【0002】

## 【従来技術】

近年、高精度の光学機器の需要に伴い、その機器を構成するレンズやミラー等の光学素子は高精度化する傾向にある。そのため、光学素子の面形状を測定する面形状測定装置にも、高い精度が求められるようになっている。

## 【0003】

また、ステッパーの投影レンズなどの高精度なレンズでは、投影レンズの波面収差を測定して、その情報をもとに組立調整を行うことも行われている。この波面収差測定装置にも高い精度が求められるようになっている。

## 【0004】

一般に、面形状測定や波面収差測定にはフィゾー干渉計などの干渉計が広く用いられている。高い精度が求められるにつれて、干渉計やフィゾーレンズなどの光学部品からの反射ノイズ光が問題となってくる。光学系の設計においては、できるだけ反射ノイズ光が測定に影響しないように配慮され、ARコートを実施などの対策もなされている。

## 【0005】

## 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、面形状測定装置における光学設計において、光学系中で生じる多重反射光のすべてに配慮した設計は困難であり、さらにARコートによる反射低減も干渉測定に対して十分なものとは言い難い。

## 【0006】

さらに、光軸近傍の光線は、各レンズ面に垂直に近い角度で入射するため、正反射光ノイズを避けることは困難であった。

## 【0007】

そこで、本発明はこのような問題に鑑みてなされたものであり、レンズ、ミラーなどの光学素子等の面形状を高精度に測定できる面形状測定装置及び投影レンズの波面収差を高精度に測定できる波面収差測定装置を提供することを目的とする。

#### 【 0 0 0 8 】

##### 【課題を解決するための手段】

前記課題を解決するための第一の手段は、検出器により、被検面からの反射光である測定用光束と、フィゾー面からの反射光である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉による位相差を検出することにより、前記被検面の面形状を測定する面形状測定装置において、

所定の位相基準に対して前記参照用光束及び前記測定用光束との位相を変化させる機構と、

前記位相変化機構に基づいて変化させた複数の参照用光束及び測定用光束の干渉による各位相差を検出し、各位相差情報の平均値を算出する機構と、を備えた面形状測定装置（請求項 1）である。

#### 【 0 0 0 9 】

前記課題を解決するための第二の手段は、検出器により、被検面からの反射光である測定用光束と、フィゾー面からの反射光である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉による位相差を検出することにより、前記被検面の面形状を測定する面形状測定装置において、

所定の位相基準に対して前記参照用光束の位相を変化させる機構と、

前記位相変化機構に基づいて変化させた複数の参照用光束の位相状態における前記参照用光束と前記測定用光束との干渉による各位相差を検出し、各位相差情報の平均値を算出する機構と、

を備えた面形状測定装置（請求項 2）である。

#### 【 0 0 1 0 】

前記課題を解決するための第三の手段は、検出器により、被検面からの反射光である測定用光束と、フィゾー面からの反射光である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉による位相差を検出することにより、前記被検面の面形状を測定す



る面形状測定装置において、

所定の位相基準に対して前記測定用光束の位相を変化させる機構と、

前記位相変化機構に基づいて変化させた複数の測定用光束の位相状態における前記測定用光束と前記参照用光束との干渉による各位相差を検出し、各位相差情報の平均値を算出する機構と、

を備えた面形状測定装置（請求項3）である。

【0011】

前記課題を解決するための第四の手段は、前記参照用光束と前記測定用光束との位相基準に対する位相変化量が同じであって、前記参照用光束と前記測定用光束との位相差が一定であることを特徴とする請求項1記載の面形状測定装置（請求項4）である。

【0012】

前記課題を解決するための第五の手段は、前記測定用光束の位相変調により位相シフト干渉法を行うことを特徴とする請求項1、2、4のいずれか記載の面形状測定装置（請求項5）である。

【0013】

前記課題を解決するための第六の手段は、前記参照用光束の位相変調により位相シフト干渉法を行うことを特徴とする請求項1、3、4のいずれか記載の面形状測定装置（請求項6）である。

【0014】

前記課題を解決するための第七の手段は、前記光源が周波数の異なる直交した偏光面を有するヘテロダイン干渉法を行うことを特徴とする請求項1～4のいずれか記載の面形状測定装置（請求項7）である。

【0015】

前記課題を解決するための第八の手段は、前記位相基準に対する参照用光束又は測定用光束の位相変化量が0、 $\pi/2$ 、 $\pi$ 、 $3\pi/2$ となる4つの状態における測定用光束と参照用光束との位相差データを取得することを特徴とする請求項1～7のいずれか記載の面形状測定装置（請求項8）である。

【0016】

前記課題を解決するための第九の手段は、前記位相基準に対する参照用光束又は測定用光束の位相変化量が $0$ 、 $\pi/4$ 、 $\pi/2$ ・・・ $7\pi/4$ となる8つの状態における測定用光束と参照用光束との位相差データを取得することを特徴とする請求項1～7のいずれか記載の面形状測定装置（請求項9）である。

## 【0017】

前記課題を解決するための第十の手段は、前記位相基準に対する参照用光束又は測定用光束の位相変化量が $2\pi$ 以上の範囲であって、不規則の複数の状態での測定用光束と参照用光束との各位相差データを取得することを特徴とする請求項1～7のいずれか記載の面形状測定装置（請求項10）である。

## 【0018】

前記課題を解決するための第十一の手段は、検出器により、被検物を透過した測定用光束と、フィゾー面からの反射光である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉による位相差を検出することにより、前記被検物の波面収差を測定する波面収差測定装置において、

所定の位相基準に対して前記参照用光束と測定用光束の位相を変化させる機構と、

前記位相変化機構に基づいて変化させた複数の参照用光束及び前記測定用光束の干渉による各位相差を検出し、各位相差情報の平均値を算出する機構と、を備えたことを特徴とする波面収差測定装置（請求項11）である。

## 【0019】

前記課題を解決するための第十二の手段は、検出器により、被検物を透過した測定用光束と、フィゾー面からの反射光である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉による位相差を検出することにより、前記被検物の波面収差を測定する波面収差測定装置において、

所定の位相基準に対して前記参照用光束の位相を変化させる機構と、前記位相変化機構に基づいて変化させた複数の参照用光束の位相状態における前記測定用光束と前記参照用光束との干渉による各位相差を検出し、各位相差情報の平均値を算出する機構と、

を備えたことを特徴とする波面収差測定装置（請求項12）である。

【 0 0 2 0 】

前記課題を解決するための第十三の手段は、検出器により、被検物を透過した測定用光束と、フィゾー面からの反射光である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉による位相差を検出することにより、前記被検物の波面収差を測定する波面収差測定装置において、

所定の位相基準に対して前記測定用光束の位相を変化させる機構と、

前記位相変化機構に基づいて変化させた複数の測定用光束の位相状態における前記測定用光束と前記参照用光束との干渉による各位相差を検出し、各位相差情報の平均値を算出する機構と、

を備えたことを特徴とする波面収差測定装置（請求項 1 3）である。

【 0 0 2 1 】

前記課題を解決するための第十四の手段は、前記参照用光束と前記測定用光束の位相基準に対する位相変化量が同じであって、前記参照用光束と前記測定用光束との位相差が一定であることを特徴とする請求項 1 1 記載の波面収差測定装置（請求項 1 4）である。

【 0 0 2 2 】

前記課題を解決するための第十五の手段は、前記測定用光束の位相変調により位相シフト干渉法を行うことを特徴とする  
請求項 1 1、1 2、1 4 のいずれか記載の波面収差測定装置（請求項 1 5）である。

【 0 0 2 3 】

前記課題を解決するための第十六の手段は、前記参照用光束の位相変調により位相シフト干渉法を行うことを特徴とする  
請求項 1 1、1 3、1 4 のいずれか記載の波面収差測定装置（請求項 1 6）である。

【 0 0 2 4 】

前記課題を解決するための第十七の手段は、前記光源が周波数の異なる直交した偏光面を有するヘテロダイン干渉法を行うことを特徴とする請求項 1 1 ～ 1 4 のいずれか 1 項記載の波面収差測定装置（請求項 1 7）である。

## 【 0 0 2 5 】

前記課題を解決するための第十八の手段は、位相基準に対する参照用光束又はは測定用光束の位相変化量が $0$ 、 $\pi/2$ 、 $\pi$ 、 $3\pi/2$ となる4つの状態での測定用光束と参照用光束の位相差データを取得することを特徴とする請求項11～17記載の波面収差測定装置（請求項18）である。

## 【 0 0 2 6 】

前記課題を解決するための第十九の手段は、位相基準に対する参照用光束又は測定用光束の位相変化量が $0$ 、 $\pi/4$ 、 $\pi/2$ ・・・ $7\pi/4$ となる8つの状態での測定用光束と参照用光束の位相差データを取得することを特徴とする請求項11～17記載の波面収差測定装置（請求項19）である。

## 【 0 0 2 7 】

前記課題を解決するための第二十の手段は、位相基準に対する参照用光束あるいは測定用光束の位相変化量が $2\pi$ 以上の範囲でばらついた複数の状態での測定用光束と参照用光束の位相差データを取得することを特徴とする請求項11～17記載の波面収差測定装置（請求項20）である。

## 【 0 0 2 8 】

前記課題を解決するための第二十一の手段は、請求項1～10のいずれか記載の面形状測定装置を用いて測定・面創製を行った光学素子を備えた投影レンズ（請求項21）である。

## 【 0 0 2 9 】

前記課題を解決するための第二十二の手段は、請求項11～20のいずれか記載の波面収差測定装置を用いて測定・組み立て調整を行った投影レンズ（請求項22）である。

## 【 0 0 3 0 】

## 【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態の面形状測定装置を図面に参照して説明する。

## 【 0 0 3 1 】

図1は、第一実施形態にかかる面形状測定装置の概略を示す図である。

## 【 0 0 3 2 】

1はレーザー光源、2、5はビームエキスパンダ、3は偏光ビームスプリッター、4は $\lambda/4$ 板、6はフィゾーレンズ、7は被検物、8は基準原器、9はビーム径変換光学系、10は2次元画像検出器である。

【0033】

レーザー光源1から照射された直線偏光Lは、ビームエキスパンダ2でビーム径を変換され、偏光ビームスプリッター（以下、PBSという）3に入射する。

【0034】

偏光光Lの偏光面は、PBS3で反射されるように選ばれている。PBS3で反射された偏光光Lは、 $\lambda/4$ 板4およびビームエキスパンダ5を経てフィゾーレンズ6に入射する。

【0035】

フィゾーレンズ6のフィゾー面6aからの反射光は、参照用光束として用いられる。参照用光束は、再びビームエキスパンダ5、 $\lambda/4$ 板4を経てPBS3を透過し、ビーム径変換光学系9でビーム径を変換された後、2次元画像検出器10に入射する。

【0036】

一方、フィゾー面（参照面）6aを透過した透過光は、測定用光束として用いられる。測定用光束は、所定の位置に配置された被検物7の被検面7aで反射され、再びフィゾーレンズ6、ビームエキスパンダ5、 $\lambda/4$ 板4を経てPBS3へ入射する。PBS3を透過した測定用光束はビーム径変換光学系9でビーム径を変換された後、2次元画像検出器10に入射する。

【0037】

参照用光束と測定用光束との干渉により、2次元画像検出器10では、干渉縞が検出される。

【0038】

なお、PBS3において反射した偏光光は、往復で $\lambda/4$ 板4を2度通過する（被検レンズまでの光路を往路といい、被検レンズからの光路を復路ということにより、偏光面が90度回転するので、復路ではPBS3を透過する。

【0039】

また、ビーム径変換光学系9は、被検物7の被検面7aの像を2次元画像検出器10に結像する役割も兼ねており、被検面7aが非球面である場合の形状を正確に知るために、ディストーションを抑えた設計にしている。ディストーションの設計値や実測値を用いて、干渉縞の横座標を補正することによって、被検面7a上の座標と2次元画像検出器10上での座標を正確に関係付けることもできる。

#### 【0040】

フィゾーレンズ6、及び被検物7の被検面7a、又は基準原器8のアライメントのために不図示の調整機構を備えている。その調整機構を用いて位相基準に対する参照用光束および測定用光束の位相をステップさせることができる。

#### 【0041】

2次元画像検出器10からの出力は、不図示のコンピュータに取り込まれて解析され、干渉縞の位相分布が算出される。本実施例の面形状測定装置では、被検物7の被検面7aを、不図示の被検物用ホルダーに設置されたピエゾ素子により光軸方向に微小に移動（ $0 \sim 2\pi$ の周期を微小に移動）させる周知のいわゆる位相シフト干渉法を用いて干渉縞の位相分布（被検面の各点での位相）を高精度に求めている（以下、測定用光束の位相変調による位相シフト干渉法という）。

#### 【0042】

次に、図2を用いて第一実施形態にかかる面形状測定装置をもちいて被検物の被検面の面形状を測定する動作・データ処理手順を説明する。

#### 【0043】

図2は、測定動作・データ処理手順をフローチャートで示した図である。

#### 【0044】

まず、被検物の位相分布を測定する。

#### 【0045】

第一実施形態にかかる面形状測定装置の不図示の被検物用ホルダーに被検物をセッティングし、干渉縞が極力粗くなるように被検物をX軸、Y軸方向のシフト又はチルト、及びZ軸方向に微小量動かし、アライメントする（STEP1）。

#### 【0046】

この最初の状態を参照用光束及び測定用光束の位相基準（初期位相）とする。

## 【 0 0 4 7 】

この状態において、被検物を前述した位相シフト干渉法を用いて位相分布（被検面の各点での位相）D 0 を計測する（STEP2）。

## 【 0 0 4 8 】

次に、フィゾーレンズと被検物との双方を光軸方向に位相基準に対して  $\pi/2$  相当変位させる（STEP3）。干渉縞の位相分布は、最初の状態（D 0 計測時）とほぼ同じ状態となっている。前述した位相シフト干渉法を用いて位相基準に対して  $\pi/2$  移動した位置における位相分布（被検面の各点での位相）D 1 を計測する（STEP4）。

## 【 0 0 4 9 】

同様に、位相基準に対する位相ステップと干渉縞の位相分布計測を繰り返し、位相分布 D 2、D 3 を得る（STEP5～STEP8）。

## 【 0 0 5 0 】

次に、計測して得られた位相分布 D 0 ～D 3 の平均 D A を算出し、D A を測定用光束と参照用光束との干渉縞の位相分布として、所定の形状誤差算出プロセスへ入力される（STEP9）。

## 【 0 0 5 1 】

複数の位相分布を平均化する理由は、ノイズ光の影響を低減するためであり、ノイズ光の影響低減の原理は後述する。

## 【 0 0 5 2 】

次に、基準原器 8 の位相分布を測定する。

## 【 0 0 5 3 】

第一実施形態にかかる面測定装置における被検物 7 を基準原器 8 に代えて、前述した測定と同様の測定を行い、基準原器の干渉縞の位相分布を測定する。

## 【 0 0 5 4 】

被検面 7 a の各点における位相と、基準原器 8 の各点における位相との差を算出する。

## 【 0 0 5 5 】

なお、本実施形態の面形状測定装置は位相分布の差を算出する機能を備えている。

#### 【0056】

次に、図3を用いて、第一実施形態にかかる面形状測定装置のノイズ光による影響低減の原理を説明する。

#### 【0057】

図3は、測定用光束の複素振幅及び参照用光束の複素振幅を複素平面上に表したものである。ここで、 $Re$ は複素振幅の実部であり、 $Im$ は複素振幅の虚部である。

#### 【0058】

反射ノイズ光は、ビームエキスパンダ5を構成するレンズから発生した場合を想定する。

#### 【0059】

測定用光束の複素振幅を $M$ とし、ノイズ光がない場合の参照用光束の複素振幅を $R_0$ とする。

#### 【0060】

測定用光束の複素振幅 $M$ と参照用光束の複素振幅 $R_0$ とのなす角度が、位相に相当する。

#### 【0061】

前述したような測定用光束の位相変調した位相シフト干渉法を用いた場合は、ノイズ光は参照用光束に加えられることになる。

#### 【0062】

従って、参照用光束の位相を $0$ （初期位相） $\rightarrow \pi/2 \rightarrow \pi \rightarrow 3\pi/2$ とステップさせることは、ノイズ光の位相が参照用光束に対して $0$ （図3中 $N_1$ ） $\rightarrow -\pi/2$ （図3中 $N_2$ ） $\rightarrow -\pi$ （図3中 $N_3$ ） $\rightarrow -3\pi/2$ （図3中 $N_4$ ）とステップしたとみなすことができる。

#### 【0063】

参照用光束の複素振幅 $R_0$ にノイズ光の複素振幅 $N_1 \sim N_4$ を加えたものが $R_1 \sim R_4$ である（ベクトル和である）。



## 【 0 0 6 4 】

各ステップ状態において、位相シフト干渉法で測定用光束Mと参照用光束R1～R4との位相差が計測されるので、計測された位相差を平均することにより、ノイズ光の影響を低減できる。すなわち、平均化によって測定用光束Mと参照用光束R0との位相差と概ね等しい位相差が検出されることになる。

## 【 0 0 6 5 】

このように本発明では、平均化によってノイズ光の影響を低減することができる。

## 【 0 0 6 6 】

図4は、第二の実施形態にかかる面形状測定装置の概略を示す図である。

## 【 0 0 6 7 】

第二実施形態の面形状測定装置は、前述した図1に示す第一実施形態の面形状測定装置のフィゾーレンズ6を、フィゾー面12aを有するフィゾー部材12とそれ以外の部分からなるレンズ部11とに分離した構成に置き換えたものである。他の構成は、図1に示した第一実施形態の面形状測定装置と同様である。

## 【 0 0 6 8 】

図1に示すフィゾーレンズ6の内部に反射ノイズ源が存在する場合、参照用光束の位相変化と同じようにノイズ光の位相も変化するので、ノイズ光の影響を低減することはできないが、第二実施形態にかかる面形状測定装置に示すように、フィゾー面12aを有するフィゾー部材12とそれ以外の部分からなるレンズ部11とに分離した構成にすることにより解消できる。

## 【 0 0 6 9 】

なお、第一実施形態にかかる面形状測定装置及び第二実施形態にかかる面形状測定装置による被検面の測定では、位相基準（初期位相）に対してフィゾーレンズ（参照用光束）と被検物（測定用光束）の双方の位相を0（初期位相） $\rightarrow \pi/2 \rightarrow \pi \rightarrow 3\pi/2$ とステップさせて、各位相において測定用光束の位相変調（0 $\rightarrow \pi/2 \rightarrow \pi \rightarrow 3\pi/2$ ）による位相シフト干渉法を用いているが、参照用光束の位相変調による位相シフト干渉法を用いてもよい。

## 【 0 0 7 0 】

また、位相基準（初期位相）に対して被検物（参照用光束）の位相を 0（初期位相） $\rightarrow \pi/2 \rightarrow \pi \rightarrow 3\pi/2$  とステップさせて、測定用光束の位相変調（ $0 \rightarrow \pi/2 \rightarrow \pi \rightarrow 3\pi/2$ ）による位相シフト干渉法を用いても良い。

## 【0071】

さらに、位相基準（初期位相）に対して被検物（測定用光束）の位相をステップさせて、フィゾーレンズ（参照用光束）の位相変調（ $0 \rightarrow \pi/2 \rightarrow \pi \rightarrow 3\pi/2$ ）による位相シフト干渉法を用いても良い。

## 【0072】

図5は、第三実施形態にかかる面形状測定装置の概略を示す図である。

## 【0073】

第三実施形態の面形状測定装置は、前述した図1に示す第一実施形態の面形状測定装置のフィゾーレンズ6を、平面フィゾー21とNullレンズ22に置き換えた構成である。他の構成は、図1に示した第一実施形態の面形状測定装置と同様である。

## 【0074】

ビームエキスパンダー5を透過した偏光光のうち、平面フィゾー21のフィゾー面21aで反射した偏光光は、参照用光束として用い、フィゾー面21aを透過した偏光光を測定用光束として用いる。

## 【0075】

Nullレンズ22は、入射波面を被検物7の被検面7a、又は基準原器8に垂直に同位相で入射する波面に変換するように設計されている。

## 【0076】

即ち、Nullレンズ22は、入射波面を被検物7の被検面7aと同じ形状の波面に変換する素子である。

## 【0077】

平面フィゾー21を光軸方向に移動させ、位相基準に対して位相をステップさせ、各ステップでの測定用光束と参照用光束の位相差を、測定用光束の位相変調（ $0 \rightarrow \pi/2 \rightarrow \pi \rightarrow 3\pi/2$ ）により計測するものである。

## 【0078】

測定用光束の位相変調のため、不図示のピエゾ素子で被検物 7 の被検面 7 a (基準原器 8) を微小に変位可能としている。

【 0 0 7 9 】

測定手順及びノイズ低減の原理は、第一実施形態において説明した通りである。

【 0 0 8 0 】

なお、本実施例では、平面フィゾーを移動して位相ステップを行っているが、被検面 7 a (基準原器 8) を移動して位相ステップを行い、平面フィゾー 2 1 を微動した位相シフト干渉法を用いるようにしてもよい。

【 0 0 8 1 】

また、第三実施形態の面形状測定装置においては、レンズを用いた N u l l 素子の例を示したが、回折光学素子 (例えば、ゾーンプレート) を用いた N u l l 素子に対しても適用可能である。

【 0 0 8 2 】

次に、図 6 は第四実施形態にかかる面形状測定装置の概略を示す図である。

【 0 0 8 3 】

第四実施形態にかかる面形状測定装置の光学系は、前述した図 5 に示す第三実施形態の面形状測定装置の平面フィゾー 2 1 を、光軸に対して所定の角度 (但し、垂直を除く) に配置した構成である。

【 0 0 8 4 】

他の構成は、第四実施形態にかかる面形状測定装置の構成と同様である。

【 0 0 8 5 】

平面フィゾー 2 1 をこのように配置することで、測定用光束と参照用光束の干渉縞の位相分布は、傾き角 (光軸に対して垂直な面と、平面フィゾー 2 1 とのなす角) に対応した周波数の正弦波状の分布が加わったものとなる。

【 0 0 8 6 】

この干渉縞の位相分布は、平面フィゾー 2 1 の傾きがない時の干渉縞の位相分布を空間的に位相変調したものとなり、位相シフト干渉法と同様に位相分布を検出することができる。

## 【 0 0 8 7 】

このような位相分布解析法に対しても本発明は適用可能である。被検物 7 の被検面 7 a (基準原器 8) を光軸方向に移動して、測定用光束の位相を位相基準に対してステップさせる構成となっている。

## 【 0 0 8 8 】

測定手順及びノイズ低減の原理は、第一実施形態において説明した通りである。次に、図 7 は第五実施形態にかかる面形状測定装置の概略を示した図である。3 1 は 2 周波レーザ、3 2 は  $\lambda/4$  板、3 3 は反射ミラー、3 4 は偏光板、3 5 は 2 次元検出器、3 6 はレンズであり、その他の構成は第一実施形態と同様である。

## 【 0 0 8 9 】

わずかに周波数の異なる直交した偏光面を有する 2 周波レーザ 3 1 からの光束は、ビームエキスパンダ 2 を経て P B S 3 へ入射する。P B S 3 で反射する偏光面を有する周波数の光は、測定用光束として用いられ、P B S 3 で透過する偏光面を有する周波数の光は、参照用光束として用いられる。

## 【 0 0 9 0 】

参照用光束は、 $\lambda/4$  板 3 2 を経て反射平面 3 3 で反射された後、再び  $\lambda/4$  板 3 2 を経て、P B S 3 で反射され、偏光板 3 4、ビーム径変換光学系 9 を経て 2 次元検出器 3 5 へ入射する。

## 【 0 0 9 1 】

一方、測定用光束は、 $\lambda/4$  板 4、ビームエキスパンダ 5、レンズ 3 6 を経て被検物 7 の被検面 7 a へ入射する。

## 【 0 0 9 2 】

ここで反射された測定用光束は往路と同じ光路を戻り、P B S 3 を透過して、偏光板 3 4 およびビーム径変換光学系 9 を経て 2 次元検出器 3 5 へ入射する。

## 【 0 0 9 3 】

偏光板 3 4 を介することにより、測定用光束と参照用光束のヘテロダインの干渉縞が得られる。

## 【 0 0 9 4 】

このヘテロダインの干渉縞を解析することにより測定用光束と参照用光束の位相差を検出することができる。

【 0 0 9 5 】

被検物 7 の被検面 7 a の光軸方向の位置を移動して測定用光束の位相を位相基準に対してステップさせて、各ステップにおける測定用光束と参照用光束との位相差を検出し、その平均値を求めることで、ビームエキスパンダ 5 やレンズ 3 6 からの反射ノイズの影響を低減することができる。

【 0 0 9 6 】

第五実施形態にかかる面測定装置における被検物 7 を基準原器 8 に代えて、前述した測定と同様の測定を行い、基準原器の干渉縞の位相分布を測定する。

【 0 0 9 7 】

被検面 7 a の各点における位相と、基準原器 8 の各点における位相との差を算出する。

【 0 0 9 8 】

なお、本実施形態の面形状測定装置は位相分布の差を算出する機能を備えている。

【 0 0 9 9 】

第一実施形態～第五実施形態にかかる面形状測定装置を用いて投影レンズ用の光学素子の面精度測定し、所定の面精度に達成しない光学素子は、再度研磨され、面精度の測定を行う。所定の面精度を達成するまで、この工程を繰り返して光学素子を製造する。

【 0 1 0 0 】

次に、図 8 は、第六実施形態にかかる波面収差測定装置の概略を示す図である。

【 0 1 0 1 】

第六実施形態にかかる波面収差測定装置の概略を示す図である。

【 0 1 0 2 】

4 0 は干渉部、4 1 はフィゾーレンズ、4 2 は投影レンズ、4 3 は折り返し球面ミラーである。

## 【0103】

干渉部40は、第一実施形態～第五実施形態にかかる面形状測定装置における光源からフィゾーレンズ（Nullレンズ、平面フィゾー）の前までの構成に相当する。

## 【0104】

干渉計部40からの偏光光はフィゾーレンズ41に入射し、フィゾー面41aからの反射光が参照用光束として用いられ、フィゾー面41aの透過光が測定用光束に用いられる。

## 【0105】

測定用光束は、投影レンズ42を透過して折り返し球面ミラー43で反射され、往路と同じ光路を戻る。

## 【0106】

フィゾー面41aの球心と、折り返し球面ミラー43の球心とは、投影レンズ42の物体面と像面との関係にあるとともに、フィゾー面41aの球心と、折り返し球面ミラー43の球心とは、共役な位置関係にある。

## 【0107】

測定用光束と参照用光束の干渉縞の解析方法は、面形状測定用の干渉計と同様である。波面収差測定装置の光源波長は、投影露光装置に搭載される投影レンズに使用される光源と同一波長にするか、あるいは極力近い波長にすることが好ましい。

## 【0108】

位相ステップの方法としては、干渉計部40を光軸方向に移動させる方法と、折り返し球面ミラー43、投影レンズ42及びフィゾーレンズ41を光軸方向に等量移動させる方法とがあり、それぞれに対応したメカ的な機構が備えられている。

## 【0109】

また、投影レンズ内の反射光がノイズ光となる場合は、共役関係を満たすように折り返し球面ミラー43及びフィゾーレンズ41を移動させて位相ステップを行うようにしてもよい。

## 【0 1 1 0】

この際、折り返し球面ミラー43の位相ステップ量を $\pi/2$ で行う場合には、フィゾーレンズ41を光軸方向に微動して位相シフト干渉法を行う。

## 【0 1 1 1】

フィゾーレンズ41の位相ステップ量を $\pi/2$ で行う場合には、折り返し球面43を光軸方向に微動して位相シフト干渉法を行う。

## 【0 1 1 2】

なお、第一実施形態～第五実施形態にかかる面形状測定装置及び第六実施形態にかかる波面収差測定装置の測定においては、位相基準（初期位相）に対する位相変化量を $0 \rightarrow \pi/2 \rightarrow \pi \rightarrow 3\pi/2$ としたが、例えば $0 \rightarrow \pi/4 \rightarrow \pi/2 \cdots 3\pi/2 \rightarrow 7\pi/4$ のように位相変化量のステップを細かくしてもよし、 $0 \rightarrow \pi/2$ のように粗くしてもよい。また、位相変化のステップをランダム的に与えて平均化効果を得るようにしてもよい。

## 【0 1 1 3】

前述した所定の面精度を有する光学素子を鏡筒に組み込んで、投影露光装置用の投影レンズを製造する。

## 【0 1 1 4】

かかる投影レンズの波面収差を、第六実施形態にかかる波面収差測定装置により測定し、所定の波面収差に達成しない投影レンズは、再度組み立て調整し、波面収差の測定を行う。所定の波面収差に達成するまで、この工程を繰り返して高精度な投影レンズを製造する。

## 【0 1 1 5】

## 【発明の効果】

以上説明した通り、本発明にかかる面形状測定装置によれば、ノイズ光の位相に対して測定用光束、又は参照用光束の位相関係をずらして平均操作を行うことにより、ノイズ光の影響を低減することができ、高精度な面形状測定装置および波面収差測定装置を提供することができる。

## 【0 1 1 6】

さらに、本発明の面形状測定装置および波面収差測定装置を用いて投影レンズ

を製作することにより、より高精度な投影レンズを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】第一実施形態にかかる面形状測定装置の概略を示す図である。

【図 2】第一実施形態にかかる面形状測定装置の測定及びデータ取得の手順を示す図である。

【図 3】第一実施形態にかかる面形状測定装置の測定用光束の複素振幅及び参照用光束の複素振幅を複素平面上に表したものである。

【図 4】第二実施形態にかかる面形状測定装置の概略を示す図である。

【図 5】第三実施形態にかかる面形状測定装置の概略を示す図である。

【図 6】第四実施形態にかかる面形状測定装置の概略を示す図である。

【図 7】第五実施形態にかかる面形状測定装置の概略を示す図である。

【図 8】第六実施形態にかかる波面収差測定装置の概略を示す図である。

【符号の説明】

- 1 . . . レーザ光源
- 2、5 . . . ビームエキスパンダ
- 3 . . . 偏光ビームスプリッタ
- 4、3 2 . . .  $\lambda/4$  板
- 6、4 1 . . . フィゾーレンズ
- 6 a、4 1 a . . . フィゾー面
- 7 . . . 被検物
- 8 . . . 基準原器
- 9 . . . ビーム径変換光学系
- 1 0 . . . 2 次元画像検出器
- 1 1、3 6 . . . レンズ
- 1 2 . . . フィゾー部材
- 1 2 a . . . フィゾー面
- 2 1 . . . 平面フィゾー
- 2 1 a . . . フィゾー面
- 2 2 . . . N u l l レンズ

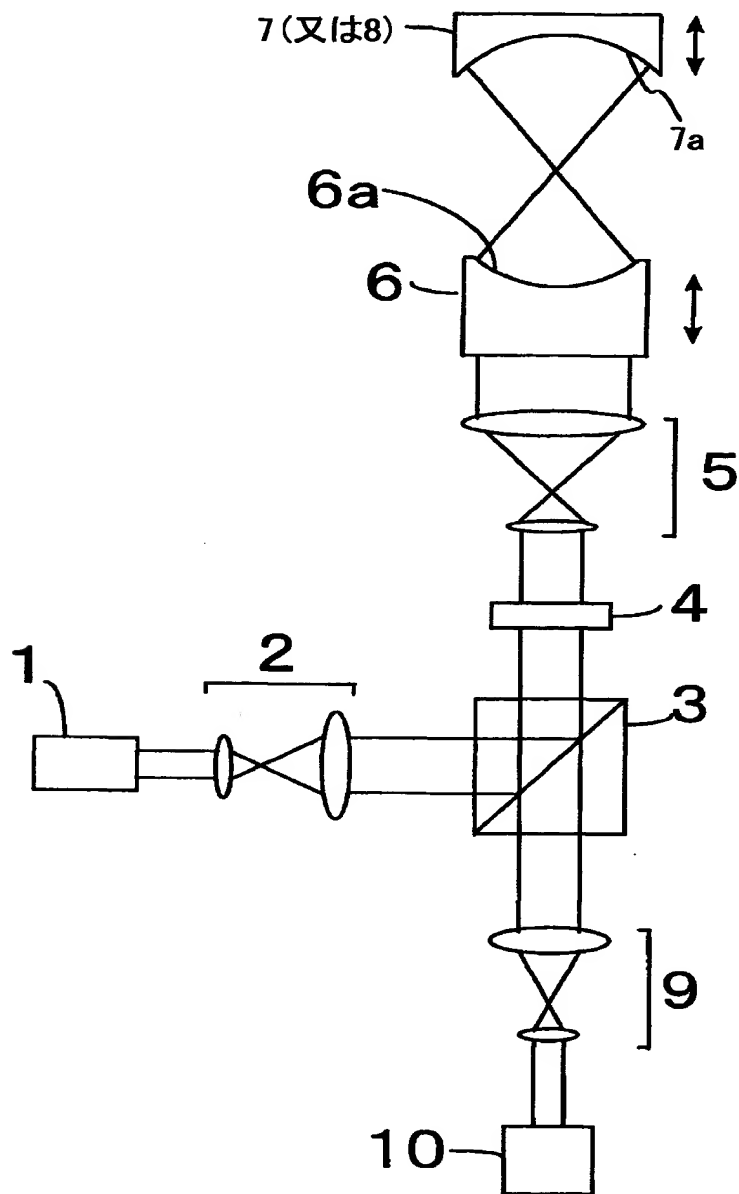


- 3 1 . . . 2 周 波 レーザ
- 3 3 . . . 反 射 ミ ラー
- 3 4 . . . 偏 光 板
- 3 5 . . . 2 次 元 検 出 器
- 3 6 . . . レ ン ズ
- 4 0 . . . 干 渉 計 部
- 4 2 . . . 投 影 レ ン ズ
- 4 3 . . . 折 り 返 し 球 面 ミ ラー

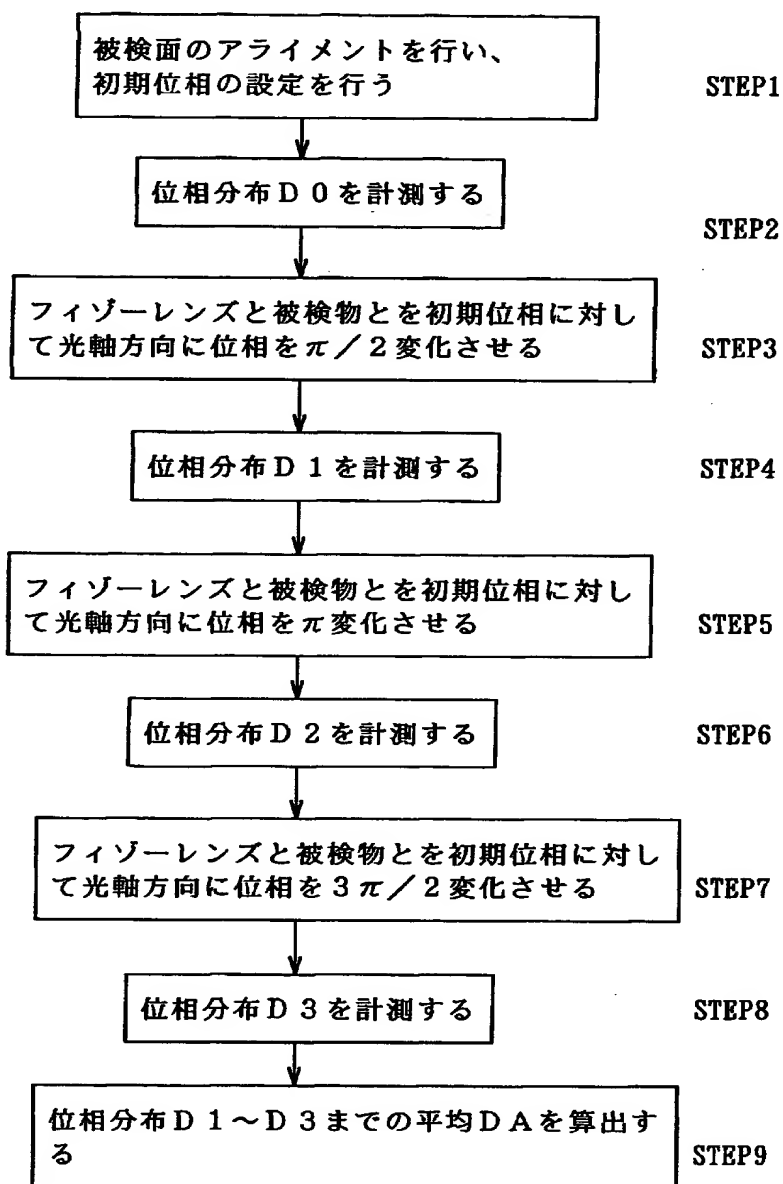
【書類名】

図面

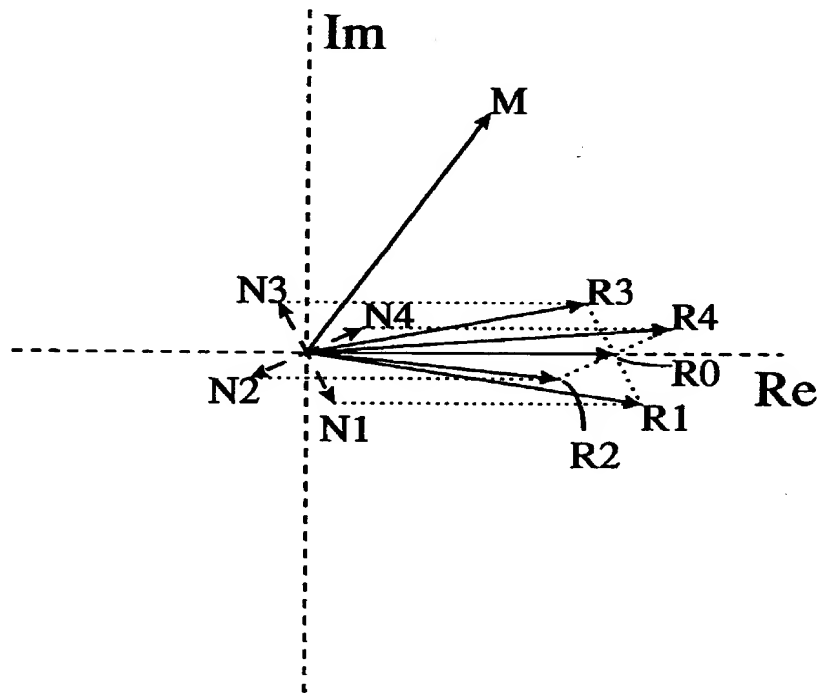
【図 1】



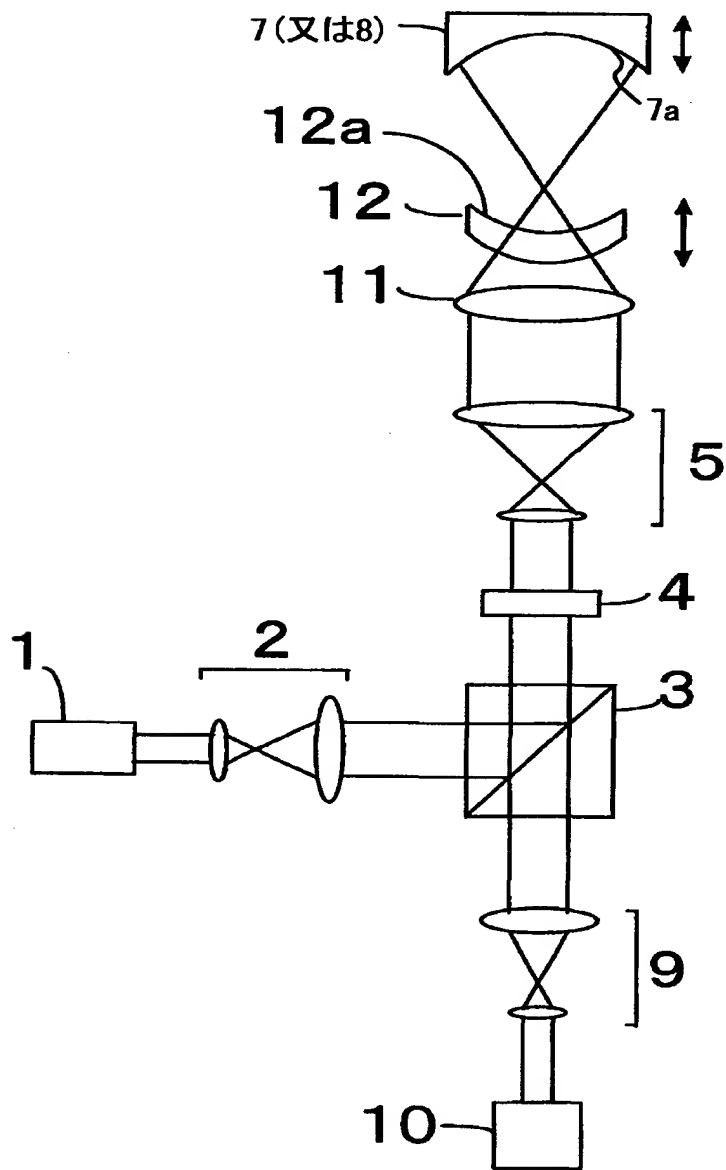
【図2】



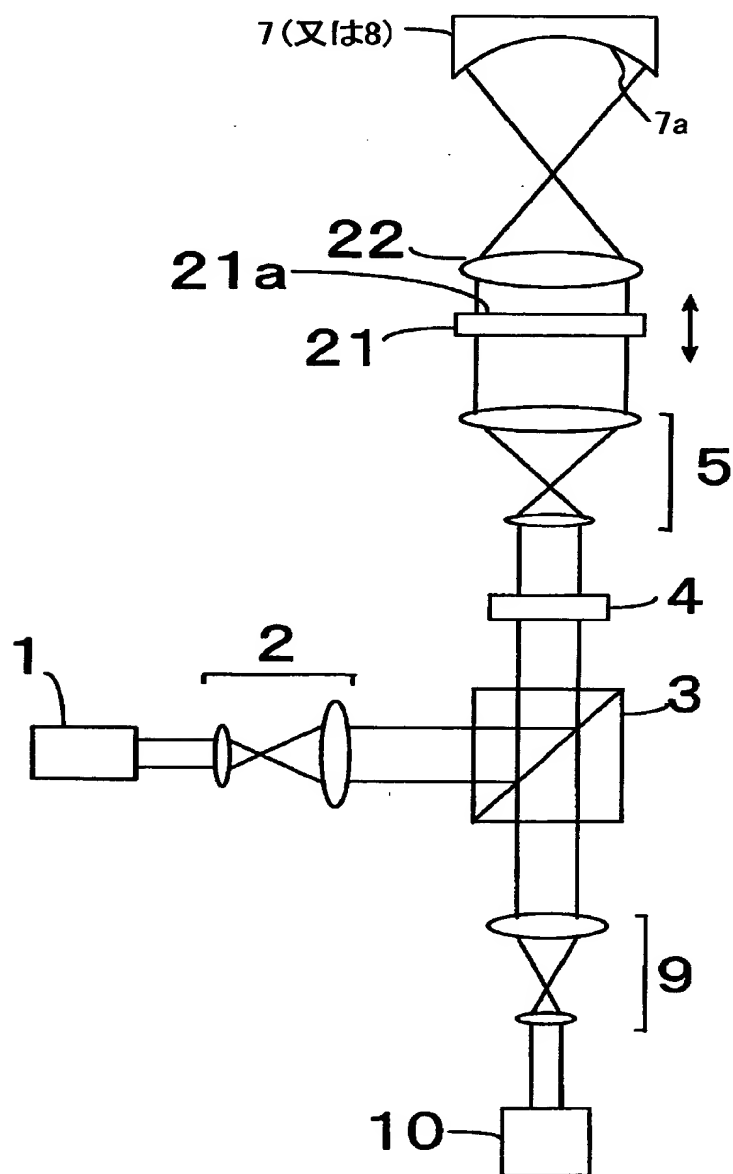
【図3】



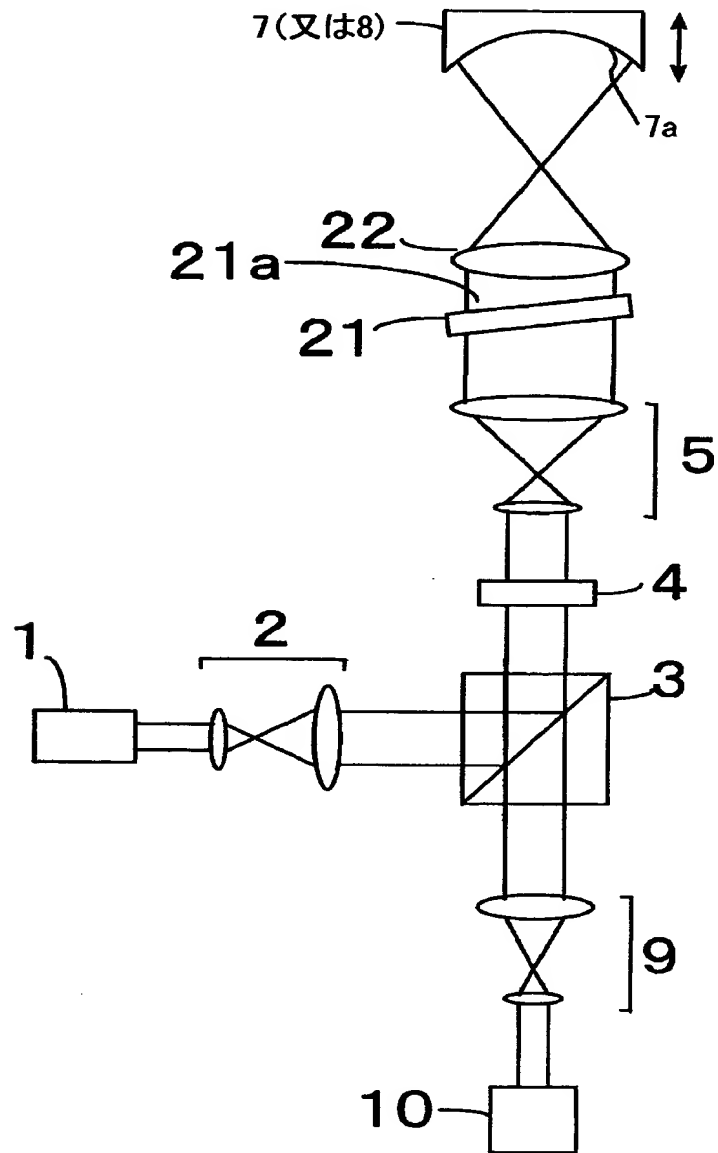
【図4】



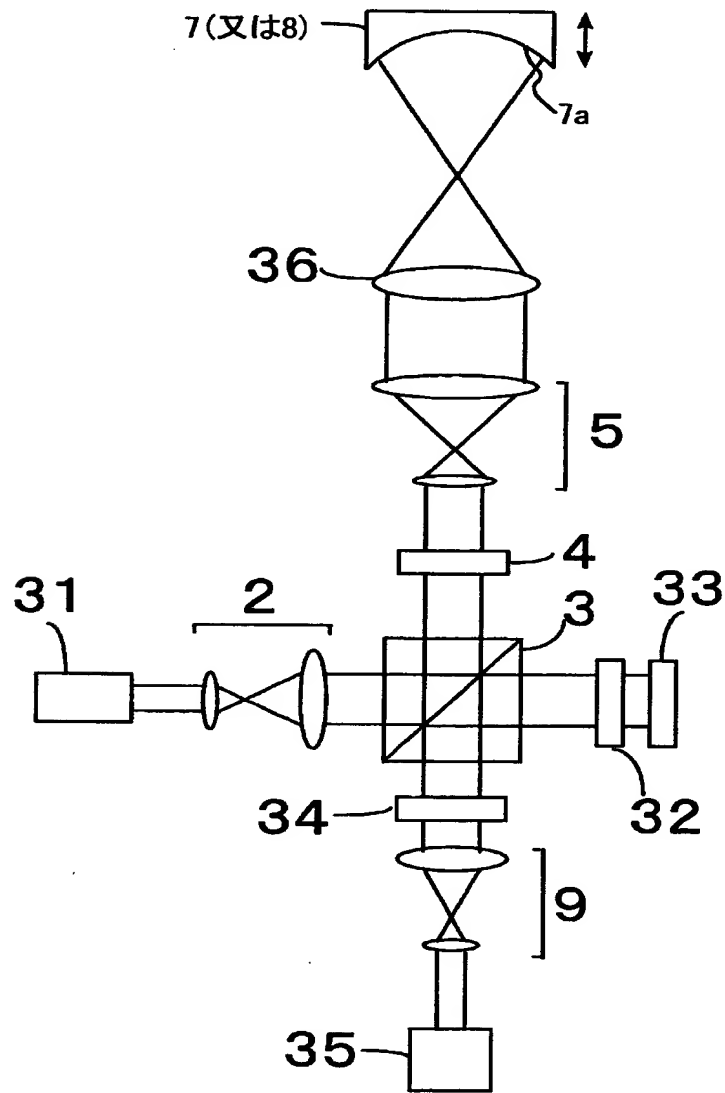
【図5】



【図6】

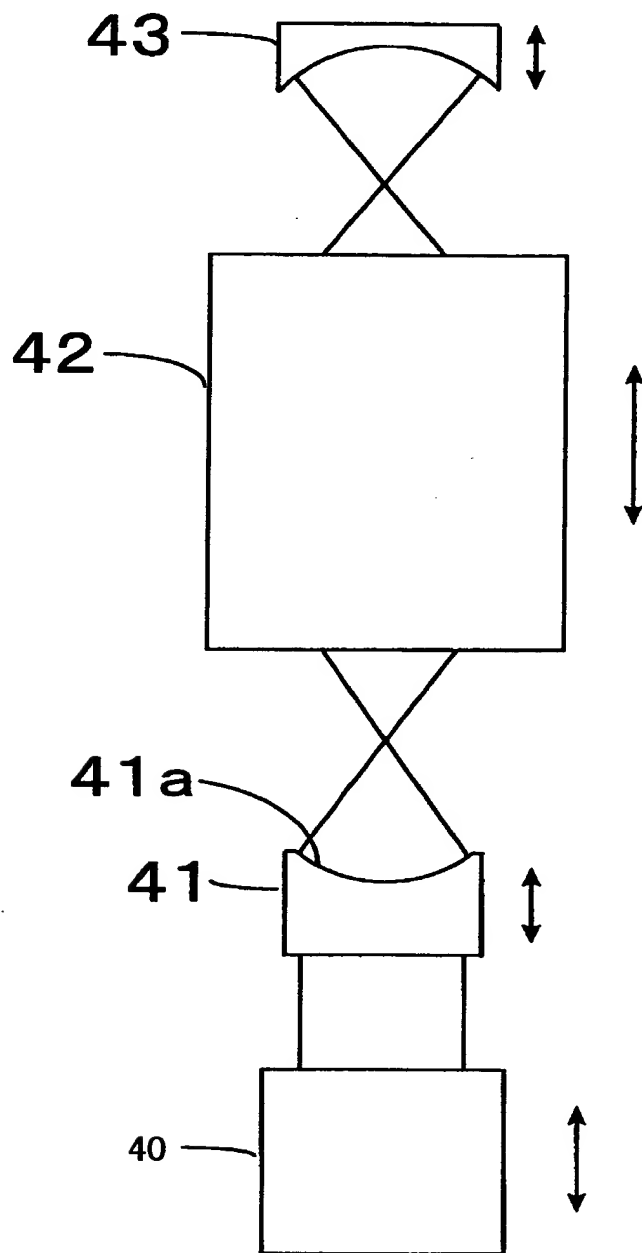


【図7】





【図8】



【書類名】 要約書

【要約】

【目的】 レンズ、ミラーなどの光学素子等の面形状を高精度に測定できる面形状測定装置及び投影レンズの波面収差を高精度に測定できる波面収差測定装置を提供する。

【解決手段】 検出器により、被検面からの反射光である測定用光束と、フィゾー面からの反射光である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉による位相差を検出することにより、前記被検面の面形状を測定する面形状測定装置において、

所定の位相基準に対して前記参照用光束及び前記測定用光束との位相を変化させる機構と、前記位相変化機構に基づいて変化させた複数の参照用光束及び測定用光束の干渉による各位相差を検出し、各位相差情報の平均値を算出する機構と

を備えた面形状測定装置。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004112]

1. 変更年月日 1990年 8月29日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号  
氏 名 株式会社ニコン